

10/553031
JC05 Rec'd PCT/PTO 07 OCT 2005

**GERMAN LANGUAGE APPLICATION
AS ORIGINALLY FILED**

METHOD AND DEVICE FOR DEFORMING A WORKPIECE MADE OF A
MATERIAL HAVING AN EXPONENTIAL TENSILE STRESS-STRAIN
BEHAVIOR INTO A THIN-WALLED, HOLLOW SHELL

SLWK 2139.003US1

05/05192 WO US

10/553031

JC05 Rec'd PCT/PTO 07 OCT 2005

1/PATK

Verfahren und Vorrichtung zum Verformen eines Werkstücks aus einem Werkstoff
mit exponentiellem Zugspannungs-Dehnungsverhalten zu einer dünnwandigen,
hohlen Schale

5

TECHNISCHES GEBIET

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verformen eines Werkstückes aus einem Werkstoff mit exponentiellem

- 10 Zugspannungs-Dehnungsverhalten zu einer dünnwandigen, hohlen Schale. Ferner betrifft die Erfindung auch ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verformen eines Werkstückes aus einem bisher nur bei bekannten Warmumformtemperaturen verformbaren Materials oder Werkstoffs, das nun gemäß der vorliegenden Erfindung beispielsweise bereits bei leicht erhöhten Temperaturen zu einer dünnwandigen,
- 15 hohlen Schale verformt werden kann.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

- Werkstücke der vorgenannten Art liegen beispielsweise als Blechronden oder
- 20 Blechrohlinge vor, die aufgrund der genannten Werkstoffeigenschaften nur in aufwendiger und damit teurer Weise in die gewünschte Schalenform zu verformen sind. So wird in der Luft- und Raumfahrtindustrie insbesondere Titan und seine Legierungen wegen des geringen Gewichtes und der guten Korrosionsbeständigkeit für Treibstoffbehälter und dergleichen eingesetzt. Die für diesen Zweck besonders geeigneten Titan- β -Legierungen sind jedoch nur schwer kalt umformbar. Diese Legierungen weisen nämlich ein exponentiales Zugspannungs-Dehnungs-Verhalten auf. Derartige Materialien in dünne Schalen, insbesondere beispielsweise in eine Kugelhalbschale oder in eine halbkugelähnliche Schalenform umzuformen, ist grundsätzlich nur als Druckumformung möglich, da die hochfesten und leichten
 - 25 Materialien mit ihren entsprechenden Eigenschaften ansonsten beschädigt werden würden. Derartige Verfahren werden auch als Net-Shape-Verfahren bezeichnet.
 - 30

Allgemein ist in der EP 0 457 358 A2 ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Metalldrücken offenbart. Hier wird vorgeschlagen, einen Rohling aus schwer verformbarem Material umfangsseitig einzuspannen und mit Hilfe eines bewegungsgesteuerten Drückwerkzeuges 3 frei, also ohne Verwendung eines

- 5 Drückfutters, bis auf Endmaß in einen Freiraum hinein auszuwölben. Ein ähnliche Verfahrensweise und Vorrichtung ist aus der US 3,342,051 bekannt. Auch hier wird ein Verformen ohne Drückfutter offenbart. Auch die DE-OS 1 527 973 lehrt ein ähnliches Verfahren zur Herstellung von Rotationsflächen, bei dem keine Drückform zum Einsatz kommen soll.

10

- Die GB 2 302 832 A offenbart eine Verfahrensweise und eine Vorrichtung zum Metallverformen. Bei diesem bekannten Verfahren wird ein Rohling mittels eines mittig angeordneten Gegenstempels auf einer sich drehenden Drückform festgehalten. Das Verformen des Rohlings erfolgt mittels einer Drückrolle, die einer bestimmen Kontur folgt und damit den Rohling entsprechend der Form formt. Ein derartiges Verfahren ist zum Formen von Materialien der eingangs genannten Art, 15 die sehr hohe Materialzugfestigkeiten aufweisen, nicht verwendbar.

- Die EP 0 593 799 B1 befasst sich eingehend mit dem Verformen von Werkstücken 20 aus den genannten Werkstoffen. Insbesondere wird auf die spezielle Problematik beim Umformen im Einzelnen eingegangen. Darüber hinaus werden die Problematiken anderer Umformungsverfahren bei Werkstücken aus den genannten Werkstoffen eingehend erläutert. Die genannte EP 0 593 799 B1 bzw. die dazu parallele US 5,426,964 lehren ein einfacheres und kostengünstigeres Verfahren zum 25 Kaltumformen eines Werkstoffes mit exponentialem Zugspannungs-Dehnungs-Verhalten zu hohlen Schalen geringer Wandstärke. So wird hier ein Blechrohling umfangsseitig eingespannt und um seine Mittellinie mittels eines Antriebs rotierend gedreht. Der rotierende Blechrohling wird zwischen ersten und zweiten bahngesteuerten Drückrollen, die an gegenüberliegenden Seiten des Blechrohlings 30 angreifen, allein durch lokale Druckkräfte zur Schale kalt verformt. Die

Relativgeschwindigkeit zwischen Werkstück und Drückrollen und die von den Drückrollen auf das Werkstück ausgeübte Kraft werden derart aufeinander abgestimmt, dass in das Werkstück eingebrachte Zugkräfte unterhalb der Streckgrenze des Werkstoffes liegen. Gemäß dieser vorgeschlagenen

- 5 Verfahrensweise wird nämlich der Werkstoff keinerlei Zugkräften im plastischen Bereich ausgesetzt und die Verformung erfolgt lediglich durch Druckkräfte, die von den beiden gegenüberliegenden Drückrollen auf das Werkstück ausgeübt werden.

Durch diese vorgeschlagene Verfahrensweise ist es möglich, mittels einer

- 10 Kaltumformung Hohlschalen mit einem großen Durchmesser und relativ dünner Wandstärke bis auf Endmaß herzustellen, ohne dass Ermüdungsrisse bzw. ein Ausbeulen festgestellt werden kann und ohne dass die mit einer Erhitzung des Werkstoffes einhergehenden Probleme auftreten. Als Grund hierfür wird genannt, dass der erzielbare hohe Kaltumformungsgrad eine Kornverfeinerung im Gefüge der
- 15 Titan- β -Legierung bewirkt, die wiederum in einer höheren Festigkeit und Zähigkeit resultiert, so dass der tragende Querschnitt und somit das Gewicht weiter verringert werden kann. Darüber hinaus führt der hohe Kaltverformungsgrad in Umfangsrichtung zu einer Veränderung der Textur der ursprünglichen Walzrichtung des kaltgewalzten Blechrohlings, so dass die mit dieser Textur einhergehende Gefahr
- 20 eines Eigenspannungsverzugs verringert wird. Die über die Drückrollen aufzubringenden Druckkräfte können sehr genau dosiert werden, so dass sich nicht nur Schalen konstanter Wanddicke, sondern auch mit sich über den Umfang der Schale verändernder Wanddicke ohne weiteres herstellen lassen. Aufgrund der Verwendung von einander gegenüberliegenden Drückrollen ist auch die beim
- 25 auftretende Rückfederung so genau beherrschbar, dass Schalen mit einer sehr hohen Maßgenauigkeit hergestellt werden können. Allerdings können hier unter Umständen sehr viele "Umformungsdurchläufe" bis zur Erzielung der gewünschten Schalenform notwendig werden, was das Verfahren zeitaufwendig macht und damit auch mit relativ hohen Herstellungskosten verbunden ist. Es sei hier angemerkt, dass unter
- 30 dem Begriff "Umformungsdurchlauf oder Umformungsschritten" hier das Verfahren

oder Durchlaufen einer Drückrolle von deren Ausgangsstellung (im Bereich der Mittellinie des zu verformenden Werkstücks) bis zu deren Endstellung (in der Nähe des Werkstückumfangsrandes) zu verstehen ist.

- 5 Abschließend ist der Vollständigkeit halber noch die US 3,248,918 zu erwähnen. Hierin ist ein Verfahren zum Formen von Reflektoren offenbart. Bei diesem Verfahren sollen sphärisch verformte Metallreflektoren hergestellt werden, ohne dass eine als teuer bezeichnete Form notwendig ist. Hier wird eine flache Kreisscheibe aus einem metallischen, Strahlung reflektierenden Material mittels einem
- 10 Klemmmittel festgehalten. Durch Drehen des festgehaltenen Blechrohlings wird die Außenkante umgebogen. Dann wird der derart vorgeformte Blechrohling mittels anderer Klemmmittel neu befestigt und wieder gedreht und dann in die gewünschte Form überführt. Das Formen von speziellen Werkstoffen der eingangs genannten Art mit exponentiellem Zugspannungs-Dehnungsverhalten ist hiermit offensichtlich
- 15 nicht möglich.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

- Ein der Erfindung zugrunde liegendes technisches Problem kann beispielsweise darin bestehen, eine Verfahrensweise zum Verformen von Werkstücken aus einem Werkstoff mit exponentiellem Zugspannungs-Dehnungs-Verhalten zu einer dünnwandigen, hohlen Schale bereitzustellen, die mit weniger Umformungsschritten auskommt. Ferner soll eine Vorrichtung bereitgestellt werden, die ein Verformen derartiger Werkstücke mit einem oder wenigen Umformungsschritten erlaubt.
- 25 Dieses der Erfindung zugrunde liegende technische Problem wird gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung beispielsweise durch ein Verfahren zum Verformen eines Werkstückes aus einem Werkstoff mit exponentiellem Zugspannungs-Dehnungs-Verhalten zu einer dünnwandigen, hohlen Schale gelöst, bei dem beispielsweise zumindest die nachfolgenden Schritte durchgeführt werden

können. Bei dem Verfahren wird das Werkstück umfangsseitig eingespannt und aktiv um seine Mittellinie gedreht. Eine frei drehbare Drückform, die eine der gewünschten Schalenform geformte Außenseite aufweist, wird mit einer geeigneten Druckkraft gegen eine Werkstücksseite gedrückt. Zumindest eine bahngesteuerte

5 Drückrolle wird gegen die andere Werkstückseite gedrückt, so dass das sich auf der Drückform drehende Werkstück zumindest teilweise oder allein durch lokale Zugkräfte zur Schale verformt, wobei die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Werkstück und der zumindest einen Drückrolle und die von der zumindest einen Drückrolle und der Drückform auf das Werkstück ausgeübte Kraft derart aufeinander

10 abgestimmt werden, dass in dem Werkstück eingebrachte Druckkräfte unterhalb der Streckgrenze des Werkstückes liegen.

Ferner wird eine Vorrichtung zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellt. Beispielsweise kann eine solche Vorrichtung eine um eine

15 Mittellinie drehbare Spanneinrichtung zum umfänglichen Einspannen des Werkstück umfassen. Zum Drehen der Spanneinrichtung um die Mittellinie ist ein Antrieb vorhanden. Ein solcher Antrieb kann beispielsweise ein Elektromotor sein. Es ist aber auch denkbar, andere Antriebsarten wie beispielsweise Pneumatik- oder Hydraulikmotoren einzusetzen. Bei dem genannten Ausführungsbeispiel einer

20 erfindungsgemäßen Vorrichtung ist eine um die Mittellinie frei drehbare Drückform vorhanden, die in Richtung der Mittellinie verschiebbar ist und zur Ausübung einer vorbestimmten Druckkraft gegen das Werkstück ausgebildet ist. Ferner umfasst die Vorrichtung zumindest eine bahngesteuerte Drückrolle, die der Drückform gegenüberliegt. Eine erste Steuereinrichtung dient zum Bahnsteuern der zumindest

25 einen Drückrolle. Eine zweite Steuereinrichtung leistet, dass die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Werkstück und der zumindest einen Drückrolle und die von der zumindest einen Drückrolle und der Drückform auf das Werkstück ausgeübte Kraft derart aufeinander abgestimmt werden, dass in das Werkstück eingebrachte Zugkräfte unterhalb der Streckgrenze des Werkstoffes des

30 Werkstücks liegen.

Erfindungsgemäß kann also beispielsweise ein Werkstück aus den genannten speziellen und bezüglich ihrer Verformung problematischen Werkstoffen kalt verformt werden, ohne dass eine große Anzahl an Umformungsdurchläufen der

- 5 zumindest einen Drückrolle notwendig sind; zumindest können weniger Umformungsdurchläufe als bisher notwendig werden. So kann beispielsweise nun in einem oder wenigen Umformungsdurchläufen eine gewünschte Schalenform auch bei den genannten Werkstoffen erzielt werden. Dies ist erstmals möglich, indem erfindungsgemäß eine Druck-Zug-Umformung erfolgt, wobei aber eine konvexe
- 10 Außenform aufweisende Druckform nicht nur den Gegendruck zur außenseitig angreifenden Drückrolle liefert, sondern mittels der verschiebbaren Form eine Vorpresskraft, bei entsprechend dem Umformfortschritt angepassten Vorschub, eine Zugspannung im Werkstück bewirkt wird. Diese Zugspannung wird im Werkstück dadurch erzielt, dass das Werkstück am Umfangsrand fest eingespannt ist und die
- 15 Form zusätzlich als "Ziehstempel" genutzt wird. Durch die zusätzliche Zugvorspannung wird die Ausdehnungsrichtung, die durch das örtliche Auswalzen des Materials mittels der Drückrolle bestimmt ist, hauptsächlich in Meridianrichtung umgeleitet. Durch die beispielsweise parallel zur Umfangsrichtung abrollende Drückrolle kann ohne Zugvorspannung eine örtliche Druckmesservergrößerung
- 20 bewirkt werden. Im Gegensatz zu der einleitend genannten bekannten Verfahrensweise kann allerdings beispielweise nur ein "Durchlauf" notwendig sein, um die Schalenform zu erzielen. Erstmals kommt also ein beispielsweise Deep Draw-Counter Spinning genanntes Verfahren oder ein Tiefzieh-Gegendrück-Verformverfahren zum Einsatz.
- 25 Bei einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung spannt der sich mitdrehende Form- oder Drückstempel das Werkstück vor. Die zumindest eine Gegendrückrolle drückt beispielsweise immer am Tangentenpunkt gegen die andere Seite des Werkstücks, so dass die zur Formgebung notwendige Umfangsdehnung
- 30 durch örtliches Auswalzen des Werkstücks bewirkt wird.

Bei einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann durch eine höhere Anzahl der Drückrollen, auch Gegendruckrollen genannt, sich die Beulgefahr vermindern, sich die Fertigungsgeschwindigkeit erhöhen und sich die 5 notwendige Drückkraft pro Rolle vermindern.

- Bei einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die automatische Steuerung des Umformprozesses über eine hydraulische Proportionalventilsteuerung oder über eine CNC-Steuerung erfolgen. Es versteht sich 10 von selbst, dass ein erfindungsgemäßes Verfahren nicht nur zur Formgebung bzw. Herstellung von Satelliten-Tankschalen eingesetzt werden kann, sondern auch zur Herstellung von anderen, schwer verformbaren Werkstoffen und Teilen anwendbar ist.
- 15 Wie bereits zuvor erwähnt, kann es bei einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung vorteilhaft sein, beim Verformen des Werkstücks die Drückform in Richtung der Mittellinie des Werkstücks zu verschieben, um die notwendige Zugspannung in das Werkstück einzubringen, wozu früher eine Drückrolle vorgesehen war. Gleichzeitig können die Gesamtbaumaße einer solchen Vorrichtung 20 gering gehalten werden, indem die Drückrollen im Wesentlichen in Richtung der Mittellinie gesehen ihre Lage beibehalten.

Aufgrund der zuvor erläuterten Bauweise dreht die Drückform mit der gleichen Geschwindigkeit wie das Werkstück, so dass keine Relativbewegung zwischen 25 Werkstück und Drückformoberseite auftritt, was bei dem genannten Werkstoff zu Problemen führen würde.

- Bei einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann das Verformen von Titan- β -Legierungen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren 30 vereinfacht sein und selbstverständlich aber auch alle Materialien, die in der zuvor

- genannten EP 0 593 799 B1 genannt sind. Beispielsweise sind Titanbleche aus Ti 15-3-3-3 oder Ti- β -21S mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verformbar. Ferner sind beispielsweise Werkstücke aus Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn verformbar. Auch die in der EP 0 593 799 B1 genannten Schalenmaße sind mit dem erfindungsgemäßen Verfahren herstellbar. Das heißt, beispielsweise sind Schalen mit einem Durchmesser von bis zu 1000 mm oder mehr und Dicken von 0,5-2 und auch bis 6 mm oder mehr mittels eines erfindungsgemäßen Verfahrens herstellbar. Insbesondere sind die Ausgangswerkstücke ca. 5 bis 40 mm dick.
- 10 Gemäß einer beispielhaften weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Neigewinkel der zumindest einen Drückrolle gegenüber der Umfangsrichtung verändert, je nach dem, welchen Abstand die zumindest eine Drückrolle von der Mittellinie des Werkstücks einnimmt und welche Form die Drückform an dieser Stelle hat. Insbesondere wird der Rollenradius und der
- 15 Rollendurchmesser an die zur Umformung notwendigen Drückkräfte und Umformrichtung angepasst. So erfolgt bei großem Rollendurchmesser und kleinem Radius eine größere Umformung in Meridianrichtung als in Umfangsrichtung und umgekehrt.
- 20 Bei einer weiteren beispielhaften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung wird es bevorzugt, dass zumindest zwei, drei oder vier Druckrollen vorhanden sind, die gleichmäßig auf einem Kreis angeordnet sind, wodurch eine schnellere Umform erzielbar ist.
- 25 Eine weitere beispielhafte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht vor, dass die Spanneinrichtung aus einem ersten Spannring und einem zweiten Spannring besteht, die über Spannmittel zueinander verspannbar sind, wobei zwischen den beiden Spannringen der Umfangsrand des Werkstücks einklemmbar ist.

In einer weiteren beispielhaften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist vorgesehen, dass einer der beiden Spannringe oder ein Lagerinnenring eine Außenverzahnung aufweist, mit der ein Zahnrad kämmt, das über einen Antrieb angetrieben wird.

5

- Alternativ kann es auch zweckmäßig sein, dass das Drehlager, auf dem die Spann- oder Klemmringe befestigt sind, einen Zahnkranz am Lagerinnenring aufweist, mit dem ein Antriebsritzel kämmt. Hierbei kann es vorteilhaft sein, dass die Klemm- bzw. Spannringe am Lagerinnenring festgeschraubt sind. Der Lageraußenring wird 10 an einem Stator der Vorrichtung befestigt und hält den radialen und axialen Umfangskräften stand.

- Bei größeren Lagerdrehkränen und damit höheren Umfangsgeschwindigkeiten, die bei der Umformung benötigt werden, können kämmende Zahnräder eine große 15 Geräuschkulisse entfalten, was nachteilig sein kann. Hier kann es vorteilhaft sein, einen Antrieb so auszustalten, dass ein Formriemen oder ein gummiertes Reibrad zur Drehung des Drehlagers der Spanneinrichtung vorgesehen ist.

- 20 In einer weiteren beispielhaften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die zumindest eine Drückrolle in gewünschter Weise gegenüber der Umfangsrichtung an bestimmten Meridianstellen neigbar.

- 25 In noch einer weiteren beispielhaften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die zumindest eine Drückrolle über eine Parallelogrammführung in gewünschter Weise gegenüber der Umfangsrichtung neigbar ist.

Beispielsweise kann die zumindest eine Drückrolle auch über eine Dreiachssteuerung geführt sein.

In einer weiteren beispielhaften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung sind die erste Steuereinrichtung und die zweite Steuereinrichtung in einer gemeinsamen Steuervorrichtung zusammengefasst.

- 5 In noch einer weiteren beispielhaften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist zumindest eine weitere Drückrolle mit größerem Durchmesser einwechselbar vorhanden, um randseitige Bereiche des Werkstücks zu verformen.

- 10 Eine weitere beispielhafte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung umfasst ein Spanwerkzeug, insbesondere einen Drehmeißel. Mit dem Spanwerkzeug ist das noch eingespannte Werkstück in gewünschten Werkstückbereichen spanabhebend bearbeitbar.

- 15 Schließlich kann in einer weiteren beispielhaften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ein Abstechwerkzeug vorhanden sein, um ein fertig bearbeitetes Werkstück abzutrennen.

- Ein weiteres der Erfindung zugrunde liegendes technisches Problem besteht darin, eine Verfahrensweise zum Verformen von Werkstücken zu einer dünnwandigen, 20 hohlen Schale bereitzustellen, bei der die Werkstücke zur Verformung nicht auf eine klassische Warmumformtemperatur erwärmt werden müssen, sondern nur auf eine darunter liegende Temperatur.

- Dieses technische Problem wird durch ein Verfahren gelöst, das beispielsweise 25 zumindest die nachfolgenden Schritte umfasst: Ein Werkstückrohling wird umfangsseitig eingespannt und aktiv um seine Mittellinie gedreht. Der Werkstückrohling wird zumindest in bestimmten Teilbereichen auf eine Temperatur erwärmt, die unterhalb der für den Werkstoff dieses Rohlings bekannten 30 Warmumformtemperatur liegt. Sodann wird eine frei drehbare Drückform, die eine der gewünschten Schalenform geformte Außenseite aufweist, mit einer geeigneten

Druckkraft gegen eine Werkstücksseite gedrückt. Zumindest eine bahngesteuerte Drückrolle wird gegen die andere Werkstückseite gedrückt (in den oben genannten erwärmteten Teilbereichen), so dass der sich auf der Drückform drehende Werkstückrohling allein durch lokale Druckkräfte zur Schale verformt, wobei die

- 5 Relativgeschwindigkeit zwischen dem Werkstück und der zumindest einen Drückrolle und die von der zumindest einen Drückrolle und der Drückform auf das Werkstück ausgeübte Kraft derart aufeinander abgestimmt werden, dass in dem Werkstück eingebrachte Druckkräfte unterhalb der Streckgrenze des Werkstückes liegen.

10

Bei einer beispielhaften Verfahrensweise gemäß der Erfindung ist der Werkstückrohling aus einer Titanlegierung hergestellt, insbesondere ist die Titanlegierung Ti6-4. Die Verarbeitungstemperatur kann beispielsweise so gewählt werden, dass im Werkstückrohling der Zustand des exponentiellen Zug-Spannungs-15 Dehnungsverhalten erreicht wird, aber kein α -case gebildet wird.

Bei einer beispielhaften alternativen Verfahrensweise gemäß der Erfindung wird ein aus einer hochfesten Al-Legierung bestehender Werkstückrohling zu einer Schale verformt. Die Al-Legierung ist insbesondere Al-2219.

20

Bei der Verformung eines Werkstücks aus einer hochfesten Al-Legierung wird die Verarbeitungstemperatur insbesondere so gewählt, dass im Werkstückrohling ein warm ausgelagerter Zustand erreicht wird.

25

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung umfasst eine beispielhafte Ausführungsform einer Vorrichtung zur Durchführung des zuvor genannten Verfahrens eine um eine Mittellinie drehbare Spanneinrichtung zum umfänglichen Einspannen des Werkstück. Es ist ein Antrieb zum Drehen der Spanneinrichtung um die Mittellinie vorhanden. Ferner ist eine um die Mittellinie frei drehbare Drückform vorgesehen, die in Richtung der Mittellinie verschiebbar ist und zur Ausübung einer

30

vorbestimmten Druckkraft gegen das Werkstück ausgebildet ist. Außerdem umfasst die Vorrichtung zumindest eine bahngesteuerte Drückrolle, die der Drückform gegenüberliegt. Eine erste Heizeinrichtung dient zumindest zur Erwärmung desjenigen Werkstückbereichs, in dem die zumindest eine Drückrolle das Werkstück

- 5 kontaktiert. Mittels einer ersten Steuereinrichtung wird die Bahn der zumindest einen Drückrolle gesteuert. Eine zweite Steuereinrichtung stellt sicher, dass die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Werkstück und der zumindest einen Drückrolle und die von der zumindest einen Drückrolle und der Drückform auf das Werkstück ausgeübte Kraft derart aufeinander abgestimmt werden, dass in das
10 Werkstück eingebrachte Zugkräfte unterhalb der Streckgrenze des Werkstoffes des Werkstücks liegen.

Bei einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der Erfindung wird die Drückform über eine zweite Heizeinrichtung auf eine bestimmte Haltetemperatur

- 15 erwärmt.

Bei einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der Erfindung besteht die erste Heizeinrichtung aus mehreren Heizeinrichtungen, die voneinander getrennte Werkstückbereiche auf die gewünschte Verarbeitungstemperatur bringen können.

- 20

Bei einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der Erfindung ist die erste Heizeinrichtung mechanisch oder manuell positionsveränderbar ist.

- 25

Bei einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der Erfindung ist die erste und die zweite Heizeinrichtung Gasbrenner sind.

Bei einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der Erfindung sind die Heizeinrichtungen Heizspiralen oder Infrarotwärmeeinrichtungen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Im Folgenden sind zur weiteren Erläuterung und zum besseren Verständnis mehrere

- 5 Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten
Zeichnungen näher beschrieben und erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht einer beispielhaften
Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

10

Fig. 2 eine der Fig. 1 ähnliche Darstellung, bei der zwei unterschiedliche
Stellungen einer Drückform angedeutet sind,

15

Fig. 3 eine der Fig. 2 sehr ähnliche Darstellung einer weiteren
Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer
zusätzlichen Drückrolle mit größerem Durchmesser zur Verformung
eines mehr am Umfangsrand des Werkstückes liegenden
Werkstückabschnitts,

20

Fig. 4 eine Teilschnittansicht eines erfindungsgemäß verformten Werkstücks
mit spanend zu bearbeitenden Bereichen,

Fig. 5 eine der Fig. 4 ähnliche Darstellung mit Darstellung eines
Abstechwerkzeugs,

25

Fig. 6 eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung verschiedener
Richtungen,

30

Fig. 7 eine weitere schematische Darstellung eines Werkstücks in Ausgangs-
und Endform, und

- Fig. 8 eine schematische Darstellung der Vorgänge im Werkstück während der Umformung,
- 5 Fig. 9 eine schematische Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform einer erfundungsgemäßen Vorrichtung zum Verformen eines Werkstückes aus einem bisher nur bei bekannten Warmumformtemperaturen verformbaren Materials,
- 10 Fig. 10 eine schemhaft dargestellte Modifikation der in Fig. 9 dargestellten erfundungsgemäßen Vorrichtung.

**BESCHREIBUNG MEHRERER BEISPIELHAFTER
AUSFÜHRUNGSFORMEN DER VORLIEGENDEN ERFINDUNG**

15 Gemäß der Fig. 1 umfasst eine erfundungsgemäße Vorrichtung beispielsweise eine Drückeinrichtung 1, die eine Drückvorrichtung 4, einen Drückstempel 2 und eine Steuervorrichtung 50 umfasst. Die Drückform 4 hat eine Außenseite 4a, die der gewünschten Schalenform entspricht. Diese Außenseite 4a der Drückform 4 ist

20 grundsätzlich konvex ausgebildet. Sie kann aber im Querschnitt gesehen nicht nur eine gleichbleibende Krümmung aufweisen, sondern die Krümmungsrichtung auch wechseln.

Die Drückform 4 ist mit dem Drückstempel 2 gekoppelt. Dieser Drückstempel 2 ist
25 Teil einer Kolben-Zylinder-Einheit, die beispielsweise über eine Pneumatik- oder Hydraulikeinheit ein Verschieben der Drückform 4 mit vorbestimmter Kraft bewirkt. Die Steuerung dieser Kolben-Zylinder-Einheit und damit der Drück- und Ziehform 4 in Richtung einer Mittellinie M erfolgt über die Steuervorrichtung 50.

Die Vorrichtung umfasst ferner eine Halterung 5, in der eine Spanneinrichtung eingebettet ist. Die Spanneinrichtung umfasst hier einen ersten Spannring 7 und einen zweiten Spannring 12, die über am Umfang gleichmäßig verteilte Spannschrauben 11 zueinander verspannbar sind. Der erste Spannring 7 ist

- 5 gleichzeitig der Innenring eines Wälzlaglers. Der Außenring 6 ist in der Halterung 5 integriert. Wie ein normales Kugellager sind hier der äußere Wälzlagerring 6 und der inneren Wälzlagerring 7 über Kugeln wälzgelagert. Ein zweites Wälzlagler aus Innenring 9 und Außenring 8 sowie dazwischenliegenden Kugeln ist ebenfalls vorhanden, um die gesamte Vorrichtung drehbar in der Halterung 5 zu lagern.

10

Der zweite Spannring 12 ist hier mit einer Außenverzahnung versehen, in der ein schematisch dargestelltes Zahnrad 13 eingreift. Dieses Zahnrad ist über einen Antrieb A, wiederum nur schematisch dargestellt, angetrieben, so dass über das Zahnrad 13 der Spannring 12 gesteuert angetrieben werden kann. Alternativ kann es

- 15 zweckmäßig sein, den inneren Wälzlagerring 7 mit einer Verzahnung zu versehen, mit der ein hier nicht dargestelltes Zahnrad kämmt, das wiederum über einen Antrieb angetrieben wird. Eine weitere Alternative zum Drehen des eingespannten Werkstückes 24₀ könnte so aussehen, dass der Lagerinnenring oder ein hiermit verbundenes (nicht gezeigtes) Bauteil über einen Formriemen, der mit einem
20 Antriebsrad gekoppelt ist, angetrieben wird. Auch eine Ausbildung als gummiertes Reibrad ist möglich. Hier würde ein kleines Reibrad mit dem fest mit dem Lagerinnenring 7 verbundenen Gegenrad über Reibschluss drehangetrieben sein.

Im übrigen ist noch anzumerken, dass die Drückform 4 auf dem Drückstempel 2

- 25 drehbar gelagert ist, selbst aber nicht angetrieben ist. Es ist auch möglich, dass die Drückform 4 und der Drückstempel 2 nicht drehbar miteinander verbunden sind, dafür aber dann der Drehstempel 2 in der Kolben-Zylinder-Einheit drehbar ist.

Vor der Halterung 5 ist eine Drückrollenlagerung 25 angeordnet. Die

- 30 Drückrollenlagerung 25 umfasst einen Grundkörper 28, an dem verschiedene Stäbe

oder Stangen 18, 19, 20, 21, 22, 23 drehbar gelagert sind. Zwei der am Grundkörper 28 drehbar gelagerten Stäbe 18, 19 und 22, 23 weisen an ihren freien Enden Drückrollenhalterungen 14, 15 auf. Diese sind wiederum an jeweiligen Stäben drehbar gelagert. An den Halterungen 14, 15 sind Drückrollen 16, 17 drehbar 5 gelagert. Über das gebildete Parallelogramm sind die Drückrollen in ihrer Neigung verstellbar und nach außen verschiebbar, d.h. der Abstand zur Mittellinie M ist veränderbar. Aufgrund der Parallelogrammkinematik bleiben die Drückrollen 16, 17 auch zunehmendem Abstand von der Mittellinie M im Wesentlichen immer auf der gleichen Höhe. Gleichzeitig besitzen die Drückrollen 16, 17 an jeder Umfangslinie 10 des Werkstücks 24 die notwendige und zur Verformung zweckmäßigste Neigung.

Die beiden Halterungen 14, 15 sind über die Stäbe 20, 21 miteinander gekoppelt. Diese beiden Stäbe sind wiederum über eine gemeinsame Drückstange 27 mit einer Kolben-Zylinder-Einheit 26 gekoppelt. Die Kolben-Zylinder-Einheit 26 bewirkt das 15 Auseinanderfahren der Drückrollen und damit einen einstellbaren Abstand von der Mittellinie M. Die Kolben-Zylinder-Einheit 26 ist über eine Steuervorrichtung 40 steuerbar. Sowohl die Steuervorrichtung 40 als auch die Steuervorrichtung 50 für die Kolben-Zylinder-Einheit 1 der Drückform 4 wie auch der Antrieb A können über Kabel 51 miteinander verbunden sein oder in einer gemeinsamen Steuervorrichtung 20 integriert sein.

Die zuvor genannte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung arbeitet und wird wie folgt betrieben. Das Werkstück 24₀ liegt als Blechrohling vor und hat vorzugsweise in der Draufsicht die Form einer Kreisscheibe. Am Umfangsrand wird 25 dieser Blechrohling zwischen den beiden Spannringen 7 und 12 fest eingespannt. Sodann wird der Antrieb des einen Spannringes 12 betätigt, um damit das Werkstück 24₀ um die Mittellinie M aktiv zu drehen. Sodann werden die Drückrollen 16, 17 ganz in der Nähe des Mittelpunktes, d.h. in Höhe der Mittellinie M gegen die eine Seite 20 des Werkstücks 24₀ gefahren, gleichzeitig wird die Drückform 4 mit vorbestimmter Kraft gegen die andere Seite des Werkstücks 24₀ gedrückt, so dass das Werkstück

24₀ zunehmend verwölbt, gleichzeitig gedreht und mit einer Gegenkraft von den Drückrollen 16, 17 beaufschlagt wird.

- Vorzugsweise kann die Drückform auch erst gegen das Werkstück 24₀ gefahren werden, bevor dieses dann gedreht wird. Diese Vorgänge werden durch die Steuerungen 40, 50, 51 kontrolliert. Die Drückform 4 wird kontinuierlich weiter entlang der Mittellinienrichtung verschoben, gleichzeitig werden über das Parallelogrammgestänge die Drückrollen 16, 17 langsam nach außen verlagert. Die Drückrollen 16, 17 folgen dabei der Kontur der Drückform 4 bzw. der gewünschten Schalenform. Während dieses Vorgangs erfolgt an den Tangentenpunkten, also den Stellen, an denen das Werkstück 24 sich von der Außenseite der Form 4 abhebt, die Umformung des Werkstücks 24. Wichtig ist dabei, dass die Drückkraft der Drückform 4 als auch die Drehgeschwindigkeit des Werkstücks 24 und die Gegenkraft der Drückrollen 16, 17 aufeinander abgestimmt werden, so dass im Werkstück 24 gemäß der Darstellung der Fig. 8 die gewünschte Verformung ohne Ausbeulen oder dergleichen erfolgt. Gleichzeitig wird auch dafür gesorgt, hier über das Parallelogrammgestänge, dass die Drückrollen 16, 17 die korrekte Neigung gegenüber der Mittellinie M haben, was auch von der Form der Drückform 4 abhängt.
- So kann, wenn möglich, nur mit einem Verfahrgang der Drückrollen 16, 17 von innen, d.h. von der Mittellinie M aus, bis nach außen das Werkstück 24₀ verformt werden. Es ist aber auch möglich, dass die Drückrollen 16, 17 wieder in die Mitte verfahren werden und ein erneuter Verformungsvorgang und eine weitere Kraftaufbringung mit der Drückform 4 erfolgt, so dass mehrere "Durchgänge" bis zur vollständigen Verformung gemäß der vorgegebenen Außenkontur der Drückform 4 notwendig sind. Allerdings weit weniger als bei dem eingangs genannten bekannten Verfahren.

Es sei hier nochmals herausgestellt, dass die Drückrollen 16, 17 sich zu Beginn des Verformvorgangs in der Stellung nahe der Mittellinie M befinden. Deren Endlage am Ende des Verformvorgangs ist mit einem Apostroph gekennzeichnet. Die schlussendliche Form des Werkstücks 24 ist hier mit dem Bezugszeichen 24¹ 5 gekennzeichnet.

Aus der Darstellung gemäß der Fig. 2 sind die unterschiedlichen Verfahrgräde des Drückstempels 4 ersichtlich. Ferner sind auch die verschiedenen Verformungsgrade des Werkstücks 24 gezeigt. Die Endstellung ist hier mit 24₃ dargestellt, eine 10 Zwischenstellung mit 24₁ bzw. 24₂.

Aus der Fig. 3 ist eine weitere beispielhafte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gezeigt. Hier werden zur randseitigen Verformung des Werkstückes 24₃ eine oder mehrere Drückrollen 30 mit größerem Durchmesser 15 verwendet. Größerer Durchmesser bedeutet hier einen Durchmesser, der größer ist als der der Drückrollen 16, 17, die für eine anfängliche Verformung vorgesehen sind.

Gemäß der Fig. 4 weist eine Schale 24 im Endzustand Bereiche 31, 32 auf, die noch abzudrehen sind. Hier kann also mit eingespanntem Werkstück 24 eine 20 spanabhebende Bearbeitung von beispielsweise Randbereichen der Schale 24 erfolgen. Auch das Abtrennen der Schale, die außenseitig fertig bearbeitet ist, ist mittels eines Abstechwerkzeugs 40 möglich, wie es aus der Fig. 5 ersichtlich ist.

In der Fig. 6 sind zur besseren Übersicht nochmals die verschiedenen Richtungen 25 dargestellt. Die Umfangsrichtung verläuft senkrecht zur Mittellinie M, die Meridianrichtung entlang der Außenkontur der Drückform 4 bzw. hier dargestellt der fertigen Schale 24. In der Fig. 7 sind zur besseren Übersicht nochmals ein Werkstück 24₀ in der Ausgangsform gezeigt mit dem Bezugszeichen 24₃ ist das Werkstück in seiner Endform gezeigt.

Die Fig. 8 zeigt, wie bereits zuvor erläutert, die grundsätzlichen Druckkräfte, die punktuell durch die Drückrolle 16, 17 und die Drückform 4 in das Werkstück 24 eingebracht werden und zu einer gewünschten Verformung ohne Übersteigen der Streckgrenze des Werkstoffs des Werkstücks 24 führt.

5

Die in der Fig. 9 dargestellte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gleicht in den wesentlichen Merkmalen der Vorrichtung, die anhand der Fig. 1 – 8 voranstehend detailliert erläutert wurde. Die hier dargestellte beispielhafte Ausführungsform umfasst zu den voranstehend erläuterten technischen Merkmalen 10 der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine erste Heizeinrichtung 100 und eine zweite Heizeinrichtung 101. Beide Heizeinrichtungen sind hier als Gasbrenner ausgebildet. Die erste Heizeinrichtung 100 ist so ausgerichtet, dass ein Warmluftstrom an der Innenseite des Werkstücks 24 entlang streicht. Beispielsweise ist es auch möglich, dass diese erste Heizeinrichtung 100 mehrere Heizstellen umfasst, so dass die 15 Werkstückinnenseite des Werkstücks 24 in verschiedenen Teilbereichen erwärmt wird. Die zweite Heizeinrichtung 101 ist so ausgerichtet, dass sie an der Außenseite des Werkstücks 24 eine Erwärmung erbringt. Bei einer beispielhaften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es aber unter Umständen auch ausreichend, nur eine Heizeinrichtung aufzuweisen. Insbesondere ist auch zu 20 erwähnen, dass bei der hier gezeigten Ausführungsform die Drückform 4 an der Außenseite entlang verschiedene Kanäle zum Durchströmen des Warmluftstroms der ersten Heizeinrichtung 100 aufweist. Unter Umständen ist es auch zweckmäßig, kleine Löcher in der Drückform 4 vorzusehen, so dass die Warmluft unmittelbar auch mit dem Werkstück 24 in Kontakt kommt. Eine indirekte Erwärmung kann sich 25 aber auch als vorteilhaft erweisen.

Insbesondere kann es also vorteilhaft sein, die zweite Heizeinrichtung 101 verschiebbar oder bewegbar auszugestalten, so dass auf der Außenseite des Werkstücks 24 immer im Bereich der Drückrollen eine Erwärmung erfolgt. Ferner 30 können auch mehrere zweite Heizeinrichtungen anstatt der einen zweiten

Heizeinrichtung 101 vorgesehen sein, so dass auch dann eine Erwärmung des Werkstücks 24 außenseitig im Bereich aller Drückrollen 16, 17 erfolgt. Insbesondere kann es auch zweckmäßig sein, eine Temperaturmesseinrichtung 102 vorzusehen, die die Oberflächentemperatur des Werkstücks 24 misst und auf die zweckmäßige

5 Warmumformtemperatur bringt, die aber erfindungsgemäß erstmals bei diesem Verformverfahren niedriger ist als die bisherigen Warmumformtemperaturen. So kann eine entsprechende erfindungsgemäße Warmumformtemperatur beispielsweise im Bereich von 500° C bis 600° C liegen, klassische Warmumformtemperaturen liegen beispielsweise über 600° C. Insbesondere sind bei herkömmlichen

10 Umformverfahren aus Verfahrensgründen Umfangtemperaturen von 650° C bis 850° C notwendig.

Bei einer erfindungsgemäßen Ausgestaltung einer Vorrichtung gemäß der Fig. 9 wird das Werkstück 24, also der Werkstückkrohling, insbesondere ein Blechrohling auf eine Warmumformtemperatur unter 650° C gebracht und über die Drückrollen 16, 17, wie bereits anhand der Fig. 1 – 8 erläutert, umgeformt. Entsprechend wird der Drückstempel 4 etc. gegen die Drückrollen verfahren und das Werkstück 24 in eine Schale verformt. Gleichzeitig wird über die Temperaturmesseinrichtung 102 und die Heizeinrichtung 100, 101 das Werkstück 24 auf der notwendigen Umformtemperatur gehalten. Das Werkstück 24 besteht bei dieser beispielhaften Ausführungsform aus einer Titanlegierung Ti 6 – 4 (Ti 6Al4V). Durch die gewählte Umformtemperatur von etwa 600° C erfolgt auch bei einer längeren Bearbeitungsdauer keine Oxidierung, d.h. es ergibt sich keine Oxidschicht bzw. eine Alpha-Case-Schicht. Bei herkömmlichen Umformverfahren, die eine Umformtemperatur von 650° C bis 850° C benötigen, kommt es bereits nach 0,1 Stunden zur Bildung von Oxid- und Diffusionsschichten (die zuvor erwähnten Alpha-Case-Schichten). Erst durch die kombinierte erfindungsgemäße Verfahrensweise und der Erzielung einer bisher nicht zur Verformung geeigneten Warmumformtemperatur sind die bisherigen nachteiligen Oxidschicht- bzw. α -case-Schichtbildung vermeidbar.

Dementsprechend auch die bisher notwendige mechanische Nachbearbeitung einer Oberfläche einer erzielten Schale.

- Eine Alternative für einen Werkstoff sind, wie bereits erwähnt, hochfeste
- 5 Aluminiumlegierungen, bei denen die Umformtemperaturen sehr niedrig gehalten werden können. Aus metallurgischer Sicht ist das Werkstück 24 dann ohne Gefügeumwandlungen in dem Werkstück 24 zu erzeugen, in eine Schale 24₃ verformbar. Ein solches erfundungsgemäßen Verfahren ermöglicht zum ersten Mal hohe Umformgrade in verschiedenen Aushärtungszuständen. Dabei wird der Vorteil
- 10 erzielt, dass das fertige Werkstück 24₃ nicht lösungsgeglüht und danach gereckt und kalt- oder warmausgehärtet werden muss. Insbesondere muss also bei der Darstellung gemäß der Fig. 9 die Drückform bzw. lediglich andere Terminologie Ziehstempel, auf eine Grundtemperatur von ungefähr 100° C unter der gewünschten Umformtemperatur des Werkstückes gebracht und gehalten werden. Zu beachten ist
- 15 dabei die ausreichende Druckfestigkeit der Vorrichtung und die Wärmedehnung bezüglich der Formgenauigkeit. Grund der Erwärmung der Drückform 4 ist die Vermeidung der Wärmeableitung vom Werkstück. Die eigentliche gewünschte Umformtemperatur wird von außen direkt auf das Werkstück 24 durch die zweite Heinzeinrichtung 101 erzielt, insbesondere nur an der Stelle, an der die Umformung
- 20 durchgeführt wird (insbesondere tangential).

- Die Bewegung der zweiten Heizeinrichtung 101 kann insbesondere manuell oder mechanisch entsprechend der Drückrollenbewegung kontrolliert erfolgt. Die Temperaturüberwachung kann je nach Seriengröße manuell oder über eine
- 25 Regelkreissteuerung erfolgen.

Vorteilhafterweise wird die Drückvorrichtung mit ihren Wälzlagern und Hydraulikzylindern entsprechend bekanntem Standard durch Hitzeschilder und entsprechende Kühleinrichtungen, nach Bedarf, vor Überhitzung geschützt.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Verformen eines Werkstücks (24₀) aus einem Werkstoff mit exponentiellem Zugspannungs-Dehnungsverhalten zu einer dünnwandigen, hohlen Schale (24₃), bei dem:
 - a) das Werkstück (24₀) umfangseitig eingespannt und aktiv um seine Mittellinie (M) gedreht wird,
 - b) eine frei drehbare Drückform (4), die eine der gewünschten Schalenform (24₃) geformte Außenseite (4a) aufweist, mit einer geeigneten Druckkraft gegen eine Werkstückseite (24a) gedrückt wird, und
 - c) zumindest eine bahngesteuerte Drückrolle (16, 17) gegen die andere Werkstückseite (24b) gedrückt wird, so dass das sich drehende Werkstück (24₀) allein durch lokale Druckkräfte zur Schale (24₃) verformt wird, wobei die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Werkstück (24₀) und der zumindest einen Drückrolle (16, 17) und die von der zumindest einen Drückrolle (16, 17) und der Drückform (4) auf das Werkstück (24₀) ausgeübte Kraft derart aufeinander abgestimmt werden, dass in dem Werkstück (24₀) eingebrachte Zugkräfte unterhalb der Streckgrenze des Werkstoffes des Werkstücks (24₀) liegen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei beim Verformen des Werkstück (24) die Drückform (4) in Richtung der Mittellinie (M) des Werkstück (24) verschoben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei sich während des Verformungsvorganges die Drückform (4) mit der gleichen Drehgeschwindigkeit dreht wie das Werkstück.

4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei das Werkstück (24) aus Titan, insbesondere aus einer Titan- β -Legierung besteht.

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei der Neigewinkel der zumindest einen Drückrolle (16, 17) gegenüber der Umfangsrichtung verändert wird.

6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei während der Verformung die Lage in Richtung der Mittellinie (M) der zumindest einen Drückrolle (16, 17) im Wesentlichen nicht verändert wird.

7. Vorrichtung zum Verformen eines Werkstücks (24₀) aus einem Werkstoff mit exponentiellem Zugspannungs-Dehnungsverhalten zu einer dünnwandigen, hohlen Schale 24₀ mit:

- 15 a) eine um eine Mittellinie (M) drehbare Spanneinrichtung (7, 10, 12) zum umfänglichen Einspannen des Werkstück (24₀)
- b) einen Antrieb (13) zum Drehen der Spanneinrichtung (7, 10, 12) um die Mittellinie (M),
- c) eine um die Mittellinie (M) frei drehbare Drückform (4), die in Richtung der Mittellinie (M) verschiebbar ist und zur Ausübung einer vorbestimmten Druckkraft gegen das Werkstück (24₀) ausgebildet ist,
- d) zumindest einer bahngesteuerten Drückrolle (16, 17), die der Drückform (4) gegenüberliegt,
- e) einer ersten Steuereinrichtung (40) zum Bahnsteuern der zumindest einen Drückrolle (16, 17), und
- f) einer zweiten Steuereinrichtung (50), die sicherstellt, dass die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Werkstück (24₀) und der zumindest einen Drückrolle (16, 17) und die von der zumindest einen Drückrolle (16, 17) und der Drückform (4) auf das Werkstück (24₀) ausgeübte Kraft derart aufeinander abgestimmt werden, dass in das Werkstück (24₀) eingebrachte

Zugkräfte unterhalb der Streckgrenze des Werkstoffes des Werkstücks (24_0) liegen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei die Spanneinrichtung aus einem
5 ersten Spannring (7) und einem zweiten Spannring (12) besteht, die über Spannmittel
(11) zueinander verspannbar sind, wobei zwischen den beiden Spannringen (7, 12)
der Umfangsrand des Werkstücks (24_0) einklemmbar ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei einer der beiden Spannringe (7,
10 12) eine Außenverzahnung aufweist, mit der ein Zahnrad (13) kämmt, das über einen
Antrieb angetrieben wird.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 – 9, wobei zumindest eine
Drückrolle (16, 17) in gewünschter Weise gegenüber der Umfangsrichtung an einer
15 bestimmten Meridianstelle neigbar ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, wobei die zumindest eine Drückrolle
(16, 17) über ein Parallelogrammführung in gewünschter Weise gegenüber der
Umfangsrichtung an einer bestimmten Meridianstelle neigbar ist.

20 12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 – 9, wobei die zumindest
eine Drückrolle (16, 17) über eine Dreiachssteuerung geführt ist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 – 12, wobei die erste
25 Steuereinrichtung (40) und die zweite Steuereinrichtung (50) in einer gemeinsamen
Steuervorrichtung integriert sind.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7-13, wobei zumindest eine
weitere Drückrolle (30) mit größerem Durchmesser einwechselbar vorhanden ist, um
30 randseitige Bereiche des Werkstücks zu verformen.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 – 14, wobei ein Spanwerkzeug, insbesondere ein Drehmeißel vorhanden ist, mit dem das noch eingespannte Werkstück in gewünschten Werkstückbereichen spanabhebend
5 bearbeitbar ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 – 15, wobei ein Abstechwerkzeug vorhanden ist, um ein fertig bearbeitetes Werkstück abzutrennen

10 17. Verfahren zum Verformen eines Werkstückrohlings (24₀) aus einem Werkstoff zu einer dünnwandigen, hohlen Schale (24₃), bei dem:

- a) der Werkstückrohling (24₀) umfangseitig eingespannt und aktiv um seine Mittellinie (M) gedreht wird,
- b) eine frei drehbare Drückform (4), die eine der gewünschten Schalenform (24₃) geformte Außenseite (4a) aufweist, mit einer geeigneten Druckkraft gegen eine Werkstückseite (24a) gedrückt wird, und
- c) zumindest eine bahngesteuerte Drückrolle (16, 17) gegen die andere Werkstückseite (24b) gedrückt wird, so dass das sich drehende Werkstück (24₀) allein durch lokale Druckkräfte zur Schale (24₃) verformt wird, wobei
15 die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Werkstück (24₀) und der zumindest einen Drückrolle (16, 17) und die von der zumindest einen Drückrolle (16, 17) und der Drückform (4) auf das Werkstück (24₀) ausgeübte Kraft derart aufeinander abgestimmt werden, dass in dem
20 Werkstück (24₀) eingebrachte Zugkräfte unterhalb der Streckgrenze des Werkstoffes des Werkstücks (24₀) liegen.
- d) der Werkstückrohling (24₀) zumindest in demjenigen Teilbereich auf eine Verarbeitungstemperatur erwärmt wird, die unterhalb der für diesen Werkstoff bekannten Warmumformungstemperatur liegt, die von der Drückrolle (16, 17) kontaktiert wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei der Werkstoff des Werkstückrohling (24₀) Ti 6-4 ist.
19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, wobei die 5 Verarbeitungstemperatur so gewählt ist, dass im Werkstückrohling der Zustand des exponentiellen Zug-Spannungs-Dehnungsverhalten erreicht wird, aber kein Alpha Case gebildet wird.
20. Verfahren nach Anspruch 17, wobei der Werkstoff des 10 Werkstückrohling (24₀) eine hochfeste Al-Legierung, insbesondere Al-2219 ist.
21. Verfahren nach Anspruch 20, wobei der Werkstoff des Werkstückrohling (24₀) eine hochfeste Al-Legierung ist.
- 15 22. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, wobei die Verarbeitungstemperatur so gewählt ist, dass im Werkstückrohling ein warmausgelagerter Zustand erreicht wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 – 22, wobei die Drückform 20 (4) auf eine Temperatur erwärmt wird, die unterhalb der Warmumformtemperatur des Werkstücks (24) liegt.
24. Verfahren nach Anspruch 23, wobei die Temperatur der Drückformaußenseite zwischen 50° C und 150° C liegt, insbesondere 100° C beträgt.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 – 24, wobei der 25 Werkstückrohling (24₀) nur im Bereich der Drückrollen (16, 17) auf die Verarbeitungstemperatur erwärmt wird.
26. Verfahren nach Anspruch 19, wobei die Verarbeitungstemperatur zwischen 500° C und 650° C liegt.

27. Vorrichtung zum Verformen eines Werkstücks (24₀) aus einem Werkstoff mit exponentiellem Zugspannungs-Dehnungsverhalten zu einer dünnwandigen, hohlen Schale (24₀) mit:

- a) eine um eine Mittellinie (M) drehbare Spanneinrichtung (7, 10, 12) zum umfänglichen Einspannen des Werkstück (24₀)
- b) einen Antrieb (13) zum Drehen der Spanneinrichtung (7, 10, 12) um die Mittellinie (M),
- c) eine um die Mittellinie (M) frei drehbare Drückform (4), die in Richtung der Mittellinie (M) verschiebbar ist und zur Ausübung einer vorbestimmten Druckkraft gegen das Werkstück (24₀) ausgebildet ist,
- d) zumindest einer bahngesteuerten Drückrolle (16, 17), die der Drückform (4) gegenüberliegt,
- e) eine erste Heizeinrichtung (100; 101), die zumindest zur Erwärmung desjenigen Werkstückbereichs ausgebildet ist, in dem die zumindest eine Drückrolle (16, 17) das Werkstück (24₀) kontaktiert,
- f) einer ersten Steuereinrichtung (40) zum Bahnsteuern der zumindest einen Drückrolle (16, 17), und
- g) einer zweiten Steuereinrichtung (50), die sicherstellt, dass die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Werkstück (24₀) und der zumindest einen Drückrolle (16, 17) und die von der zumindest einen Drückrolle (16, 17) und der Drückform (4) auf das Werkstück (24₀) ausgeübte Kraft derart aufeinander abgestimmt werden, dass in das Werkstück (24₀) eingebrachte Zugkräfte unterhalb der Streckgrenze des Werkstoffes des Werkstücks (24₀) liegen.

28. Vorrichtung nach Anspruch 27, wobei die Drückform über eine zweite Heizeinrichtung (101) auf eine bestimmte Haltetemperatur erwärmt wird.

29. Vorrichtung nach Anspruch 27, wobei die erste Heizeinrichtung (100) aus mehreren Heizeinrichtungen besteht, die voneinander getrennte Werkstückbereiche auf die gewünschte Verarbeitungstemperatur bringen können.

30. Vorrichtung nach Anspruch 28 oder 29, wobei die erste
5 Heizeinrichtung (100) mechanisch oder manuell positionsveränderbar ist.

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 27-30, wobei die erste und die zweite Heizeinrichtung (100, 101) Gasbrenner sind.

32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 27-30, wobei die Heizeinrichtungen (100, 101) Heizspiralen oder Infrarotwärmeeinrichtungen sind.

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft u.a. ein Verfahren zum Verformen eines

5 Werkstückes (24₀) aus einem Werkstoff mit exponentiellem Zugspannungs-Dehnungs-Verhalten zu einer dünnwandigen, hohlen Schale (24₃). Bei diesem Verfahren wird das Werkstück (24₀) umfangsseitig eingespannt und aktiv um seine Mittellinie (M) gedreht. Eine frei drehbare Drückform (4), die eine der gewünschten Schalenform (24₃) geformte Außenseite (4a) aufweist, wird mit einer geeigneten

10 Druckkraft gegen eine Werkstückseite (24a) gedrückt. Zumindest eine bahngesteuerte Drückrolle (14, 17) wird gegen die andere Werkstückseite (24b) gedrückt, so dass das sich drehende Werkstück (24₀) allein durch lokale Druckkräfte zur Schale (24₃) verformt, wobei die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Werkstück (24₀) und der zumindest einen Drückrolle (14, 17) und die von der

15 zumindest einen Drückrolle (14, 17) und der Drückform (4) auf das Werkstück (24₀) ausgeübte Kraft derart aufeinander abgestimmt werden, dass in dem Werkstück (24₀) eingebrachte Druckkräfte unterhalb der Streckgrenze des Werkstückes (24₀) liegen. Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verformen

20 eines Werkstückes aus einem bisher nur bei bekannten Warmumformtemperaturen verformbaren Material oder Werkstoff, das nun gemäß der vorliegenden Erfindung bereits bei einer Temperatur zu einer dünnwandigen, hohlen Schale verformt werden kann, die unterhalb der für den Werkstoff des Werkstücks bekannten Warmumformungstemperatur liegt.

25

(Fig. 1)